

Mikko Nissilä

# Porapaalukäyttelijän suunnittelu

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Konetekniikka

Insinöörityö

4.9.2018

Tekijä Otsikko	Mikko Nissilä Porapaalukäittelijän suunnittelu
Sivumäärä Aika	25 sivua + 6 liitesivua 4.9.2018
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma	Konetekniikka
Ammatillinen pääaine	Koneensuunnittelu
Ohjaajat	Kalustopäällikkö Kimmo Perkiö Lehtori Pekka Salonen
<p>Tämän insinöörityön tavoitteena oli porapaalukäittelijän suunnittelu YIT Infra Oy:lle. Työssä suunniteltiin porapaalukäittelijät Klemm KR 807-7 -poravaunuun.</p> <p>Raportissa käsitellään jokainen suunnittelun vaihe yksityiskohtaisesti. Suunnittelussa tehtyjä valintoja perustellaan työssä tarkemmin. Lisäksi käsitellään parannuksia aikaisempiin porapaalukäittelijöihin verrattuna ja syitä näille muutoksille. Porapaalukäittelijöistä tehtiin yksinkertaiset FEM-mallinnukset. Tällä varmistetaan toiminta tavallisessa käyttötilanteessa, sekä muutamassa mahdollisessa virheliikkeiden aiheuttamien voimien tilanteissa.</p> <p>Työn tuloksena oli toimiva porapaalukäittelijäkonsepti, jota voidaan skaalaamalla tehdä erikokoisille koneille. Suunniteltu porapaalukäittelijä on mahdollista siirtää myös muihin saman kokoluokan koneisiin.</p>	
Avainsanat	Autodesk Inventor, suunnittelu, FEM, porapaalukäittelijä

Author Title	Mikko Nissilä Design for pipe clamp in drilling rig
Number of Pages Date	25 pages + 6 appendices pages 4 September 2018
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Mechanical and Production Engineering
Professional Major	Machine Design
Instructors	Kimmo Perkiö, Manager of construction equipment Pekka Salonen, Senior Lecture
<p>The aim of this bachelor's thesis was to design a pipe clamps to YIT Infra Oy. This thesis concentrates on the design of drilling rig Klemm KR 807-7.</p> <p>The report examines every design phase in detail. Each design selection will be reasoned thoroughly. In addition, improved designs with argumentation are introduced in respect to previous pipe clamps design. Pipe clamps are investigated with FEM in order to confirm the correct activity in normal operating and in some possible hazardous situations.</p> <p>The design result was a pipe clamps concept that can be utilized immediately. The scaling of all parts enables the usage of the concept in different size pipe clamps and in other size drilling rigs. These pipe clamps can have installed to other same size drilling rigs.</p>	
Keywords	Autodesk Inventor, design, FEM, pipe clamps

# Sisällys

## Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Yritys	2
3	Suunnittelu	3
3.1	Tavoitteet ja rajoitteet	3
3.2	Mekaniikka	4
3.2.1	Avaustyökalu	4
3.2.2	Takavaste	7
3.2.3	Leuat	8
3.2.4	Lisäoptio lukkopaaluohjurille	9
3.3	Hydrauliikka	10
4	Lujuustarkastelu	13
4.1	Lähtökohdat	13
4.2	Voimien kohdistukset	14
4.3	Tulosten analysointi	18
5	Yhteenveto	24
	Lähteet	25
	Liitteet	
	Liite Kokoonpanokuvat (vain tilaajan käytettävissä)	

## Lyhenteet

CEE      *Central and Eastern Europe.* Keski- ja Itä-Eurooppa

FEM      *Finite element method.* Lujuustarkastelu elementtimenetelmällä

## 1 Johdanto

Insinööritoimiston tavoitteena oli suunnitella YIT Infra Oy:lle Klemm KR 807-7 -poravaunuun porapaalukäittelijät. Suunnittelussa käytettiin Autodesk Inventor – ohjelmistoa. Apuna käytettiin muiden koneiden ja YIT Kalusto Oy:n Bauer RG 16 – poravaunuun suunniteltavia paalukäittelijöitä.

Porapaalukäittelijän tarkoitus on ladata paaluputki poravaunuun maston ollessa vaakatasossa. Tämän jälkeen poravaunun masto nostetaan pystyyn ja paalu kohdistetaan maahan oikeaan kohtaan. Leukoja aukaistaan tässä vaiheessa sen verran, että paaluputki ohjautuu maahan käittelijän leukoja pitkin oikeassa kohdassa ja halutussa asennossa.

Klemm KR 807-7 -poravaunu on vuosimallia 2011, jossa aikaisemmin oli pelkästään pienille porakangille tarkoitettua aukaisuleuat. Paalukäittelijöitä ei kyseisellä koneella ole aikaisemmin ollut, ja tämä on tuonut haastetta aina, kun poravaunulla on paalutettu halkaisijaltaan yli 300 mm:n porapaalua. Poravaunulla on voiman puolesta mahdollista paaluttaa halkaisijaltaan 600 mm:n porapaalua, ja se myös asetettiin käittelijäpaketille suurimmaksi mahdolliseksi paaluhalkaisijaksi.

Työssä suunniteltiin ja mallinnettiin paalukäittelijä tilauskelpoiseksi. Työn tulosten pohjalta voidaan toteuttaa ja tehdä toimiva porapaalukäittelijä.

## 2 Yritys

Insinööritöä tehtiin vanhalle Lemminkäinen Infra Oy:lle, joka sai 1.1.2018 Lemminkäisen ja YIT:n konsernien fuusioitumisen yhteydessä nimen YIT Infra Oy. Uudessa YIT konsernissa työskentelee noin 10 500 työntekijää 11 maassa. Yhtiö on jaettu kuuteen toimialaan: päällystys, infraprojektit, toimitilat, kiinteistöt, asuminen Suomi, CEE sekä asuminen Venäjä. Liikevaihdosta 68 % tulee Suomesta, 12 % Venäjältä, 10 % Skandinaviasta ja loput Baltiasta sekä CEE-maista. <sup>[1]</sup>

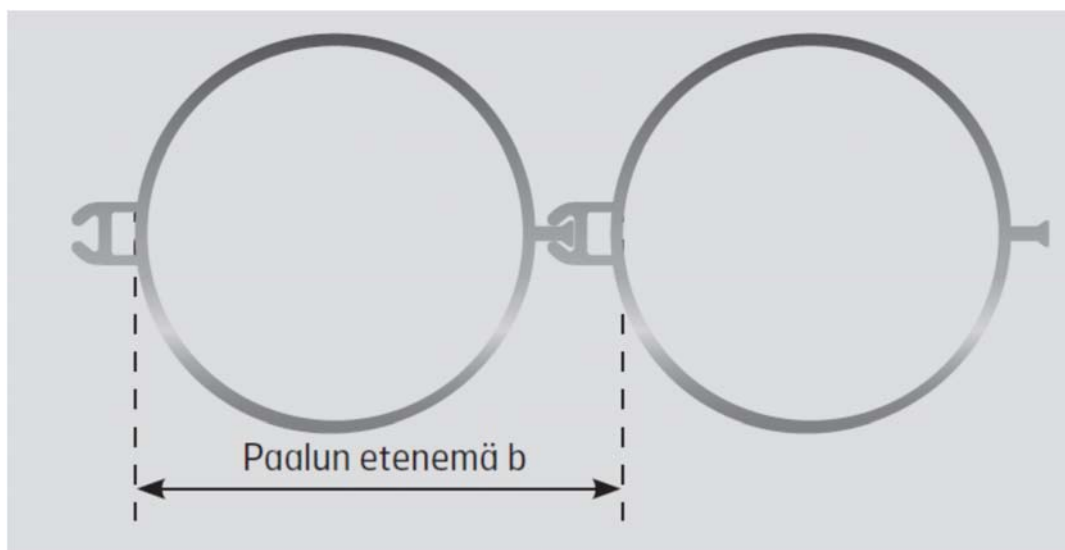
Insinööritöiden työskentelypaikkana oli pohja- ja insinöörirakentamisen korjaamo. Korjaamolla huolletaan pohjarakentamisessa käytettävää kalustoa, kuten poravaunuja, stabilointikoneita, kaivinkoneita ja muuta pohjarakentamisen erikoiskalustoa. Korjaamo sijaitsee Tuusulan Sammonmäessä.

Maa- ja pohjarakentaminen kuuluu infraprojektit-toimialaan. Pohjarakennusosasto tuottaa maaperän rakenteesta ja käyttötarkoitusta riippuen tukiseiniä ja ankkurointia, paalutusta tai stabilointia. Pääsääntöisesti toimialana on Suomi ja Baltia, mutta myös Ruotsissa ja Norjassa on pohjarakentamisen toimintaa. <sup>[2]</sup>

### 3 Suunnittelu

#### 3.1 Tavoitteet ja rajoitteet

Suunnittelu aloitettiin asettamalla tavoitteet ja rajoitteet aloituspalaverissa. Aloituspalaverissa olivat läsnä insinööriyöntekijä Mikko Nissilä, kalustopäällikkö Kimmo Perkiö, kunnossapitopäällikkö Eero Heikkilä ja koulun puolelta vastuuopettaja lehtori Pekka Salonen. Tavoitteena oli valmistaa kättelijäpaketti, jolla pystyttiin tarvittaessa poraamaan 500 mm:n lukkopaaluseinää ja 600 mm:n porapaalua. Puhuttaessa 600 mm:n porapaalusta käytetään oikeasti halkaisijalta 610 mm:n olevaa putkea, jossa ei ole alla kuvan 1 mukaisia lukkoja. Kuvan mukaisesti 500 mm:n lukkopaaluputken etenemä  $b$  RM/RF-lukot hitsattuna on 572 mm <sup>[3]</sup>. Näiden kahden mitan perusteella kättelijäpaketin uuman leveydeksi tuli 620 mm.



Kuva 1 Lukkopaaluputken etenemä <sup>[3]</sup>

Lisäoptioiksi asetettiin, että kättelijässä tulee olla porakangen avaustyökalu sekä lukkopaalupontin ohjainlevy helpottamaan lukkopaaluputken kulman asemointia. Materiaaliksi valikoitui S355 -teräs, joka on yleisesti käytössä oleva luja rakenneteräs ja hintalaatusuhteeltaan paras ratkaisu. Leukapaketti pintakäsitellään ennen käyttöönottoa korroosion estämiseksi.



Rajoitteena tulisi huomioda, että kättelijä ei saa mennä liikaa maston takapuolelle, koska poravaunun alavaunu tavallisessa työasennossa on 800 mm etäisyyden päässä telojen etureunasta <sup>[6]</sup>. Lisäksi leveys ja korkeus pyrittiin pitämään mahdollisimman pieninä käytettävyyden vuoksi. Kättelijäpaketin pinnan tuli olla tasainen, sekä leukojen ylätaso ja kättelijäpaketin pinnan tuli olla samalla korkeudella. Tällä varmistettiin mahdollisuus nostaa avain valmiiksi kättelijäpaketin pintaa vasten, jotta työkäytössä apumies voi tarvittaessa käsin työntää ja kohdistaa avaimen porakangen avainkoloon.

### 3.2 Mekaniikka

Mekaniikan suunnittelu ja leukapaketin muotojen hahmottelu oli aikaa vievin osuus suunnittelussa. Leukapaketti tuli saada rakenteeltaan mahdollisimman pieneksi ja helppokäyttöiseksi samalla huomioiden kaikki leukapaketille esitetyt vaatimukset.

Leukapaketin kiinnitys mastoon määräytyi Klemm -poravaunun maston pohjalevyn mukaan. Liittämistä varten leukapaketin pintaan hitsataan 40 mm paksu levy, jossa on samanlainen pulttijako kuin poravaunun maston pohjassa. Levyssä on kaksitoista M 24 -kierteistä 40 mm syvyistä kierrereikää, joilla leukapaketti kiinnitetään maston pohjaan.

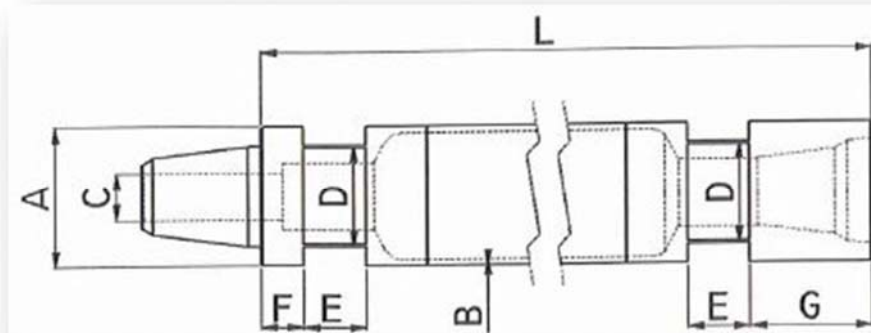
#### 3.2.1 Avaustyökalu

Avaustyökalu sijoitettiin leukapaketin päälle paikkaan, jossa se ei ole porattaessa edessä, ja samanaikaisesti sen pitää olla tarvittaessa helposti käytettävissä. Avaustyökalun tarkoituksena on, että porakankiletan liitoksia voidaan avata letkaa purettaessa ja koottaessa.

Porattaessa pieniä paaluputkia käytetään API 2 3/8" Reg. kierteellä olevaa porakankea, joka on kuvan 2 A halkaisijalta 76 mm. Putken mittojen E, G ja F yhteenlaskettu mitta seuraavan kaavan mukaan on 152 mm. <sup>[4]</sup> Tämä on myös avaustyökalun alarajan määrittävä mitta.

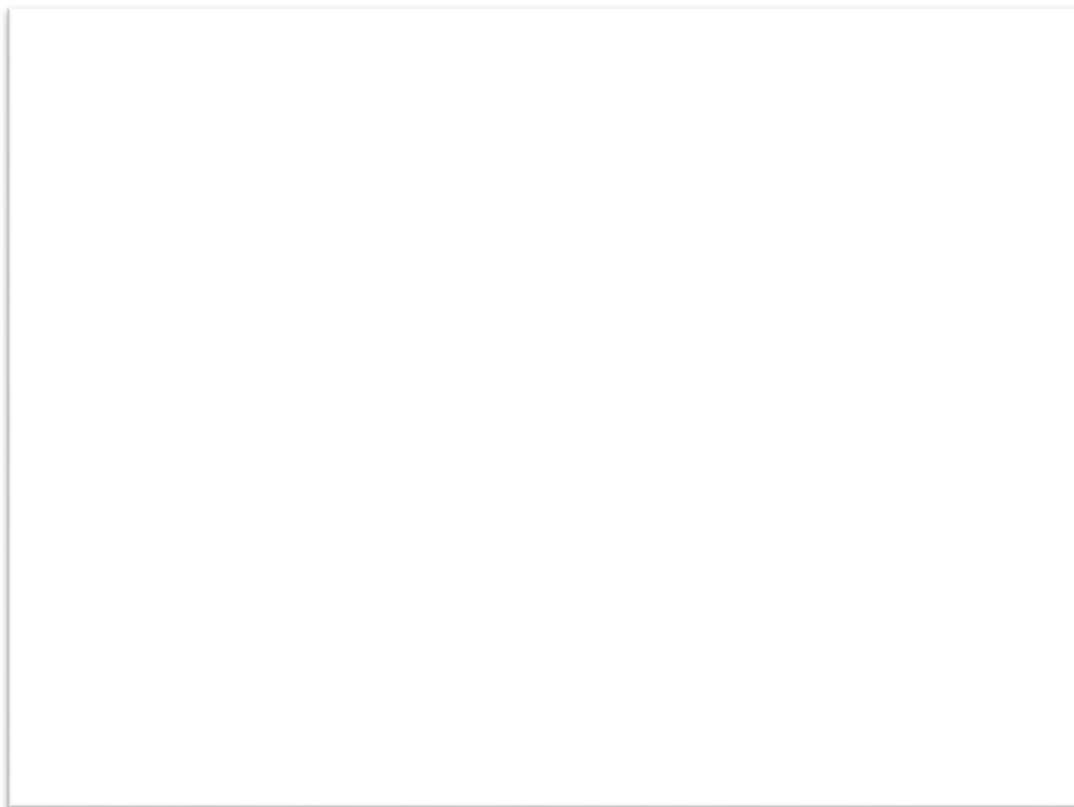
$$L = E + G + F \quad (1)$$

Yläraja määräytyy Beco -porakangen mukaan, joka on suurin mahdollinen käytettävä porakanki. Sitä käytetään RD500 -porapaalua porattaessa. Tällöin yläraja tulee olla vähintään 270 mm kansilevyn yläpuolella.



Kuva 2 Poraputken mittakuva <sup>[4]</sup>

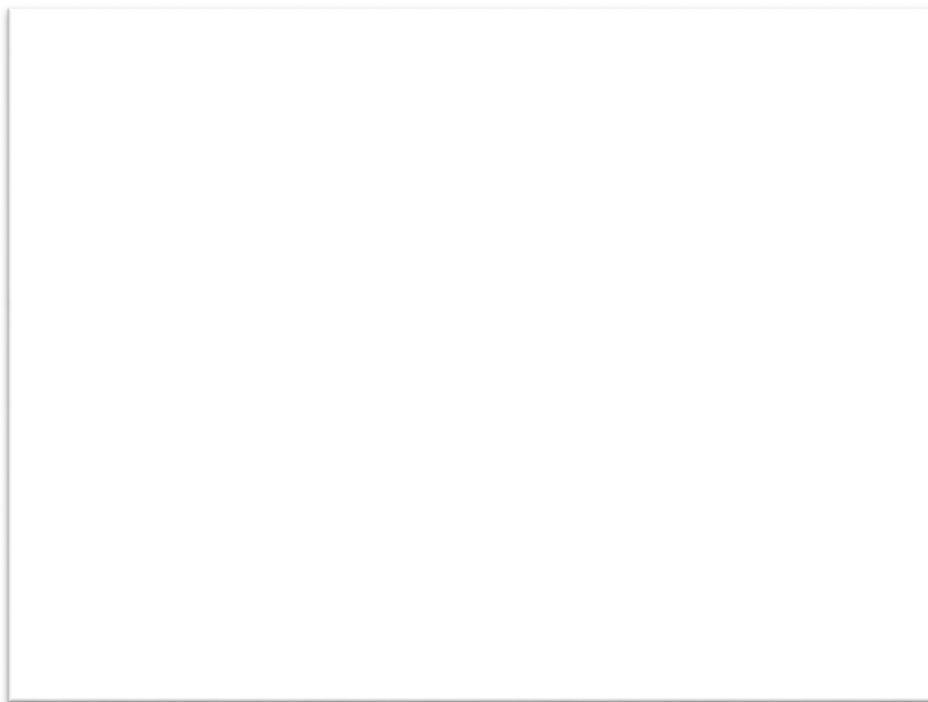
Sylinteriä valittaessa iskun pituudeksi suunniteltiin pisimmän mahdollisen, joka täyttää samalla liikeradalle vaadittavat mitat. Iskun pituudeksi määräytyi lopulta 150 mm. Tällä sylinterillä pääsee avainhahlon pohjaan verratessa lähimmillään 123 mm:n etäisyyteen kansilevystä. Korkeimmillaan pääsee 273 mm:n etäisyyteen kansilevystä, kuten kuvassa 3 esitetään. Pystysylinterinä toimii sylinterihalkaisijaltaan 32 mm ja varrenhalkaisijalta 20 mm oleva sylinteri.



Kuva 3 Avainhahlon etäisyys kansilevystä (vain tilaajan käytettävissä)

Avaussylinterin mitoituksessa tuli ottaa huomioon, että Beco -kangessa oleva suurin mahdollinen avainkolo on 300 mm. Tällainen avain tuottaa 200 kg lisää painoa avaus-sylinterin päähän. Sylinterin tulee kestää tällainen pystysuuntainen vääntö, sekä samalla myös tuottaa kankiliitoksen avaukseen tarvittava voima.

Avaussylinteriksi päätettiin ottaa kuvassa 4 näkyvä 100 mm männän halkaisijaltaan ja 63 mm varren halkaisijaltaan olevan sylinteri. Sylinterin varren paksuus riittää estämään taipumia, ja samalla sylinteri jaksaa tuottaa avaukseen tarvittavan voiman. Sylinterin varren päähän suunniteltiin kierre, johon kiinnitettiin avainkiinnike. Avainkiinnikkeessä on neljä 50 mm halkaisijaltaan olevaa tapin paikkaa. Tapeilla voidaan lukita kankiavain 4 erilaiseen asentoon. Tämä mahdollistaa kangen avaamisen riippumatta siitä, missä asennossa kangen avainhahlo on.



Kuva 4 Avaustyökalun CAD -malli (vain työn tilaajan käytettävissä)

### 3.2.2 Takavaste

Takavasteella avulla asetetaan poravaunun porauskeskiö ja paaluputki samaan linjaan. Vasteeseen on tehty lukitustapille paikkoja kaikille mahdollisille paaluko'ille. Vaste asetetaan sopivaksi halutulle paalukoolle ja tämän jälkeen asetetaan lukitustappi leukapaketin kansilevyn päällä olevasta reiästä takavasteen läpi koloon. Kansilevyn ja tapin paikat on mitoitettu niin, että aina kansilevyn ja takavasteen yksi rei'istä ovat samassa linjassa. Tappi lukitsee vasteen, jottei se pääse liikkumaan ja pitää täten porauskeskiön suorassa. Takavaste on suunniteltu suljetuksi laatikoksi, johon on upotettu takavasteen sylinteri. Takavasteen kohdistustapin reiät on putkitettu kuvassa 5 näkyvällä tavalla, jotta kotelorakenteen sisään ei pääsisi kuraa. Takavasteen pinnat ovat tasaiset. Tällä varmistetaan, ettei takavasteeseen tule ylimääräisiä koloja, jonne kura voisi kertyä.



**Kuva 5 Takavasteen CAD -malli (vain työn tilaajan käytettävissä)**

Aiemmissa porapaalukäyttelijöissä ongelmana on ollut nimenomaan takavasteen täyttyminen kuralla. Tämä on erityisen ongelmallinen talvella, kun kura ja sementti jäätyvät takavasteen sisälle sekä vasteen päällä oleviin koloihin. Jäätyminen aiheuttaa takavasteen sylinterin rikkoutumista, letkurikkoja ja takavasteen jumiutumista.

### 3.2.3 Leuat

Leukapaketin kääntyvät leuat puristavat paalun takavastetta vasten ja toimivat samalla porauksen aikana paalun ohjaajana. Leuat rakennettiin kuvan 6 mukaisesti kotelorakenteeksi, jotta kaikki ylimääräinen paino saatiin leuoista pois. Leuat ovat toistensa peilikuvia, ja ne voidaan valmistaa samoilla osakuvilla. Ainoastaan leukojen päälle tulevat korkkeet on eri puolilla.



Kuva 6 Leuan CAD -malli (vain työn tilaajan käytettävissä)

Leukojen muodot suunniteltiin peilikuviksi, koska leukapaketilla ohjataan ja tarrataan kiinni lähinnä putkista. Leuat asennetaan toimimaan symmetrisesti.

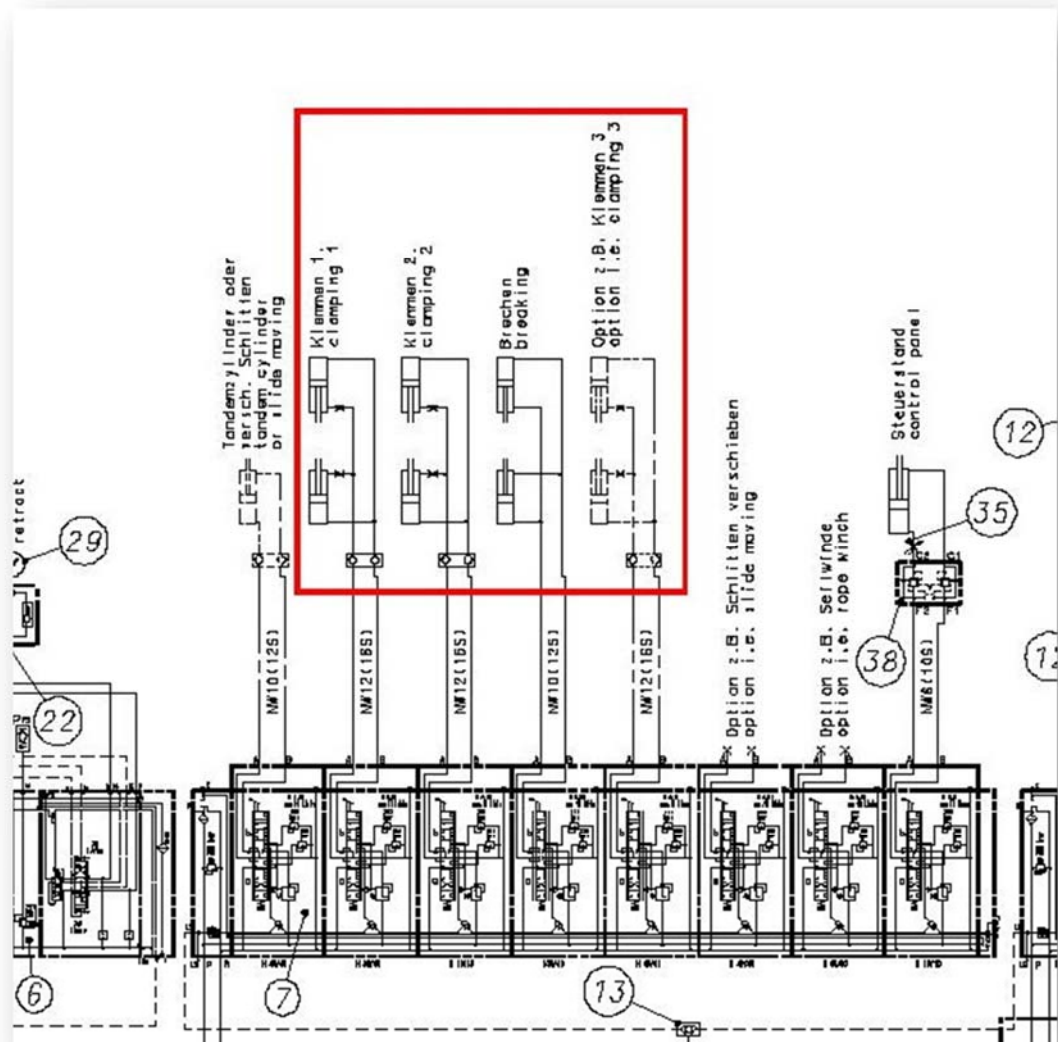
#### 3.2.4 Lisäoptio lukkopaaluohjurille

Porapaalukäittelijöihin tehtiin mahdollisuus suunnitella jälkeinpäin kannen päälle asennettava lukkopaaluohjuri. Ohjurilla voidaan ohjata lukkopontti oikeassa kulmassa maahan. Ohjuria varten maston kiinnityslevyn etureunaan tehtiin upotus ja kansilevyyn porattiin 700 mm:n säteelle kahdeksan reikää.

Ohjurilevyn tulee olla halkaisijaltaan 60 mm suurempi kuin käittelijäpaketin uuman halkaisija. Tällä varmistetaan, ettei ohjurilevy pääse putoamaan porapaalukäittelijän päältä porattaessa paaluputkea.

### 3.3 Hydraulikka

Poravaunun oma hydraulijärjestelmä tuottaa lohkosta riippuen leukapakettiin 200 – 250 barin paineen. Hydraulikka liitetään koneeseen koneen omalle leukapaketilille varatuille paikalle, kuten kuvassa 7 on kohdennettu.



Kuva 7 Hydraulikan liitospaikka lohkossa [6]

Leukasyntereinä toimivat kuvan 8 männän halkaisijalta 70 mm ja varrenpituudelta 50 mm olevat sylinterit. Sylinterin iskupituus on 250 mm, joka rajoitettiin holkin avulla 225 mm:n iskupituuteen. Asennuspituus sylinterillä on 494 mm. Molempiin päihin sylinteriä

tulee pallonivel. Kämpäläsylinterit asennetaan samaan hydraulikkaan niin, että välissä on vain virtauksenjakoventtiili. Venttiilin avulla saadaan leuat toimimaan symmetrisesti toisiinsa nähden.



**Kuva 8 Leukasylinteri**

Takavasteen sylinterin suunnittelussa päädyttiin vaihtoehtoon, jossa öljy virtaa varren läpi molemmiin puoliin mäntää. Tämän avulla sylinterin letkut eivät liiku takavastetta liikuttaessa, eikä täten letkurikon vaaraa ole kuran kulkeutuessa takavasteen taakse.

Takavasteeseen tulee yksi kuvassa 9 esitettävä sylinteri, jonka männän halkaisija on 90 mm ja männän varren halkaisija 60 mm. Iskunpituus sylinterillä on 270 mm. Sylinterin kiinnitys on etulaippakiinnityksellä, ja varren päässä on pallonivel.





**Kuva 9 Takavasteen sylinteri (vain työn tilaajan käytettävissä)**

Porapaalukäyttelijöihin asennetaan myös paineakku, joka leukojen vuotaessa sisäisesti, ylläpitää leukojen painetta. Tämä estää vaaratilanteet, joissa paalu on ilmassa leukojen varassa ja sylintereiden paine romahtaa. Tällainen tilanne voisi johtaa siihen, että paalu putoaisi maahan. Paineakun mitoittaminen tehdään ulkopuolisen toimijan toimesta koon-  
tivalheessa.

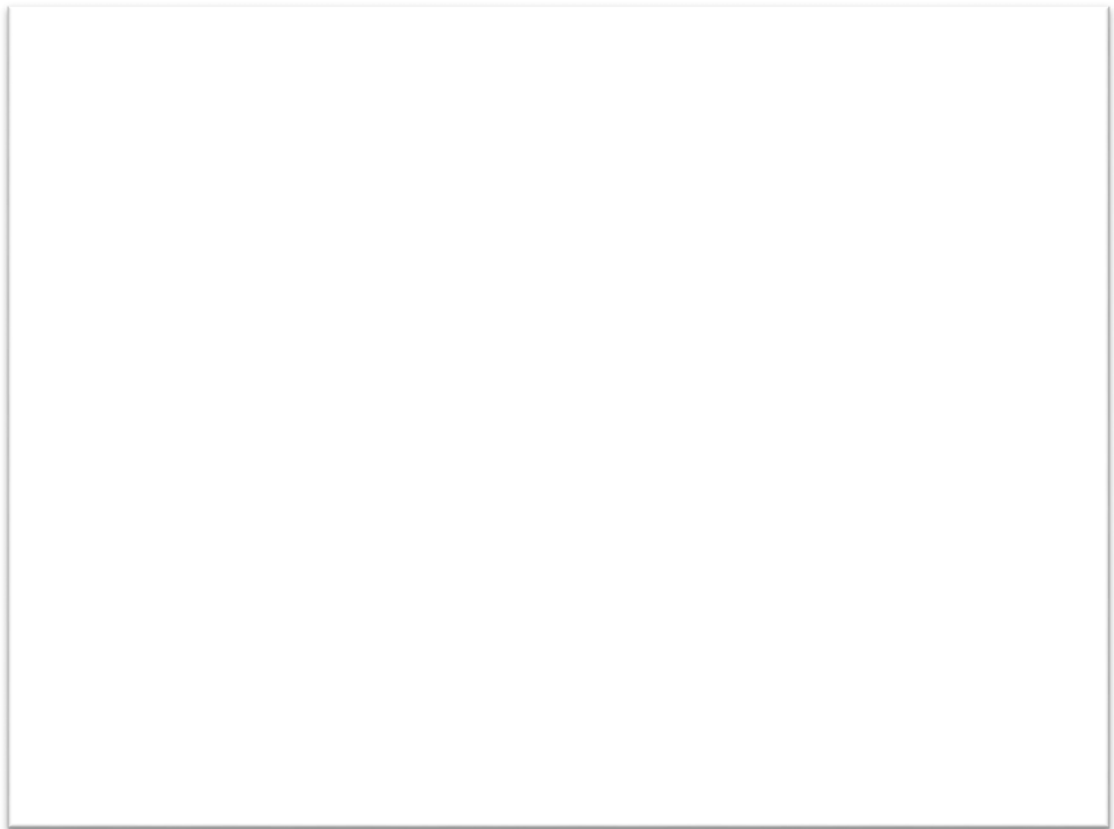
## 4 Lujuustarkastelu

### 4.1 Lähtökohdat

Lujuustarkastelun tehtiin Autodesk Inventorin stress analysis -työkalulla. Lujuustarkastelun tavoitteena on saavuttaa tuote, johon ei synny pysyviä muodonmuutoksia. Tarkastelussa leukoja työnnetään takavastetta kohden täydellä voimalla, sekä leukoihin tulee suurin mahdollinen nostovoima.

Lujuustarkastelussa kohdistettiin voimia useisiin eri kohteisiin erisuuruisilla voimilla. Tuloksia tarkastelemalla pyritään varmistamaan, että leukapaketti kestää ääriolosuhteissa tapahtuvia virheliikkeitä. Näin pyritään varmistamaan leukapaketin pitkäaikainen toimintavarmuus.

FEM – analyysissä määrättiin kaikkien 12 kiinnityspultin olevan kiinnitettynä kuvan 10 mukaisesti.



Kuva 10 Kiinnitykset FEM – analyysissä (vain työn tilaajan käytettävissä)

Lujuustarkastuksessa tuli ottaa huomioon toisen poravaunun, Casagrande C7:n, suurin nostovoima. Toisen poravaunun mukainen nostovoima otetaan huomioon, koska tarkoituksena on säilyttää mahdollisuus käyttää leukapakettia myös muissa saman kokoluokan koneissa. Casagrande C7 -poravaunun nostovoima on 20 tn. Voima tästä saadaan seuraavan kaavan mukaan.

$$\vec{F} = m\vec{g} = 196,2 \text{ kN} \quad [7] \quad (2)$$

Laskelmissa pyöristettiin lukema hiukan ylemmäs 198 kN:n suuruuteen. Tarkasteluja tehtiin myös Klemm -poravaunun omalla maksimi nostovoimalla, joka on 13 tn. Tällöin suurin voima kaavan 2 mukaan on 127,53 kN.

Takavasteen aiheuttamaksi voimaksi laskettiin takavasteen sylinterin tuottama maksimi voima. Voima laskettiin alla olevalla kaavalla, jossa  $d_m$  on männän halkaisija 100 mm ja  $p$  on paine 250 bar.

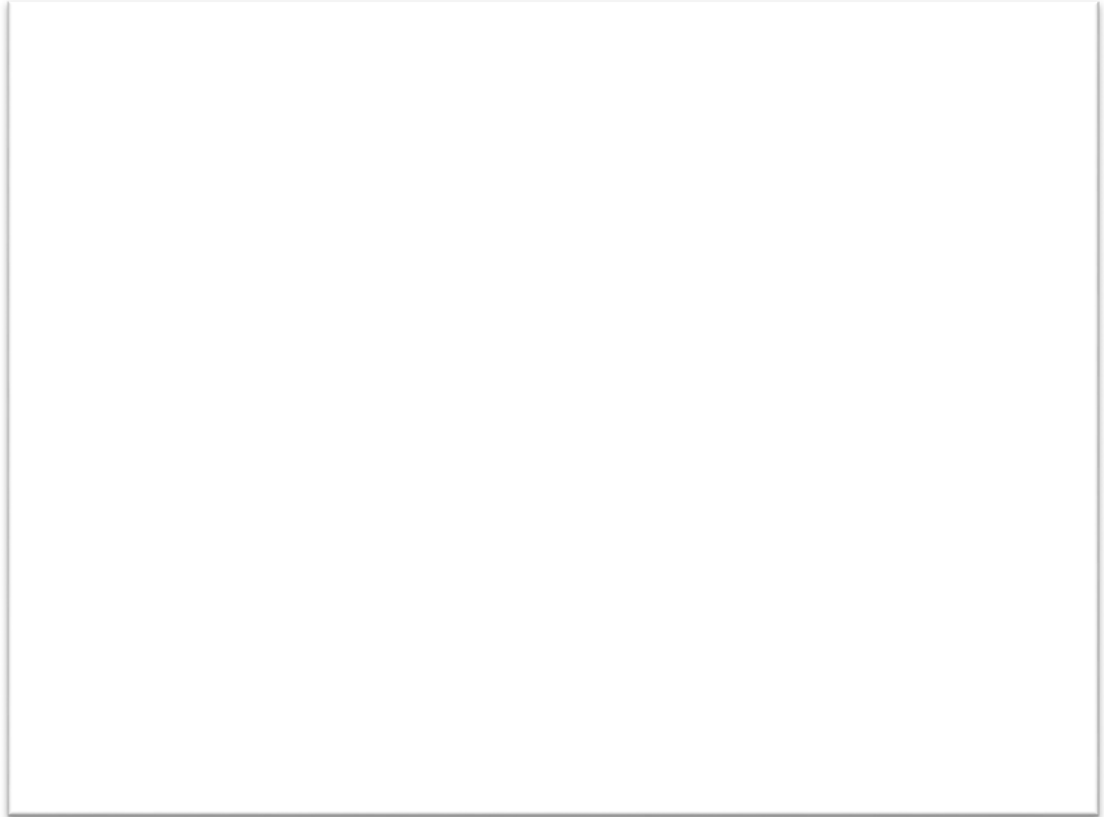
$$\vec{F} = \frac{1}{4} \pi * p * d_m^2 = 196,35 \text{ kN} \quad (3)$$

Myös tämä voima pyöristettiin laskelmissa 198 kN:n suuruuteen. Avaussyinterin sylinterin halkaisija on sama, kuin takavasteen sylinterillä, joten avaus sylinterin voimia tarkastellessa voimana käytettiin samaa 198 kN:n voimaa.

## 4.2 Voimien kohdistukset

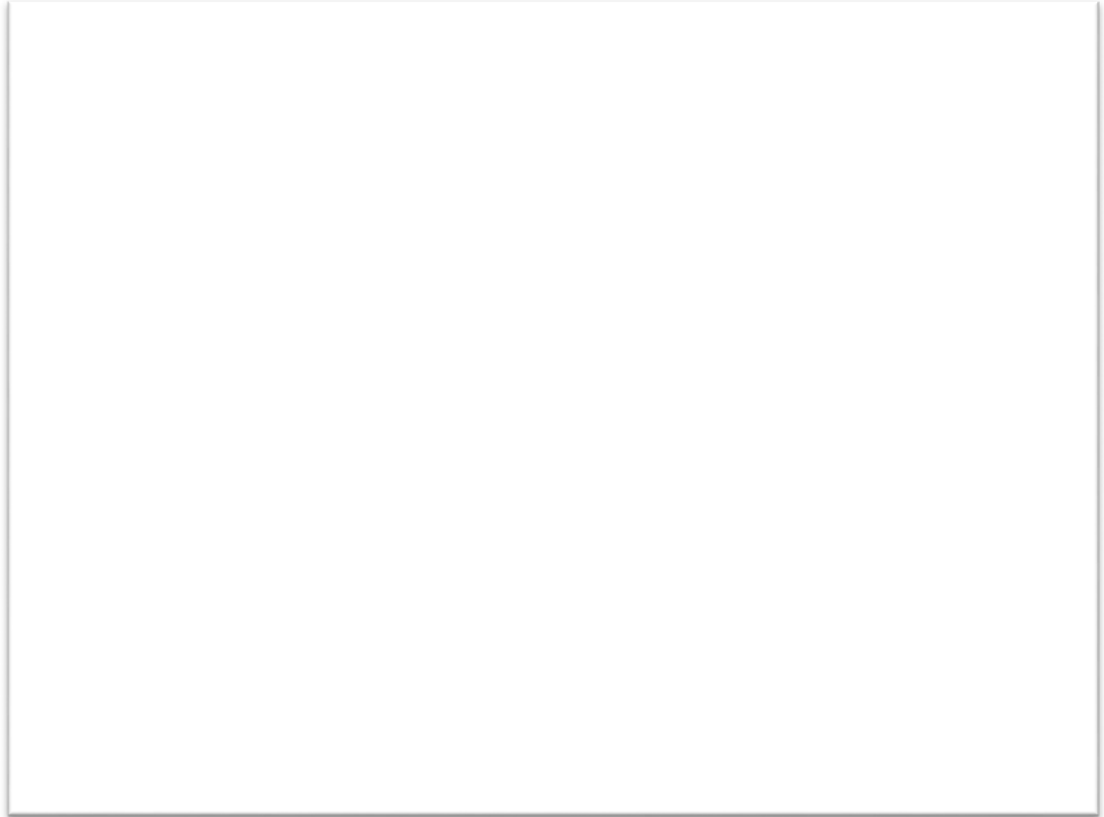
Voimia pyrittiin kohdistamaan sellaisiin paikkoihin, joita voi tulla eteen myös todellisessa käytännön tilanteessa. Tavallisia työskentelytilanteita ovat avausmekanismin käyttö, takavasteeseen tuleva sylinterin suuntainen voima ja leukojen painaminen poraputkeen.

Kuvassa 11 näkyy, miten voimat asetettiin, kun haluttiin tutkia, millaisia jännityksiä takavasteeseen syntyy. Tässä tilanteessa sylintereillä painetaan täydellä teholla takavastetta vasten.



**Kuva 11 Takavasteelle tuleva voima (vain työn tilaajan käytettävissä)**

Virheliikkeiden aiheuttamia voimia ajatellen leukojen kestävyyttä tutkittiin kahdesta eri tapahtumasta. Ensimmäinen tapahtuma oli kuvan 12 mukainen, kun käpälien päähän tulee staattista kuormitusta yhteensä 20 tn:n voimalla. Tällainen tilanne on edessä, mikäli kankiletka asetetaan koko painolla makaamaan porapaalukäittelijän leuan päälle ja kuljettajan virheliikkeen takia kangen syöttö liikkuu alaspäin ja iskeytyy päin leukoja.



**Kuva 12 Molempiin leukoihin jakautuva voima (vain työn tilaajan käytettävissä)**

Toinen mahdollinen virhetilanne syntyy, kun pelkästään toiseen leukaan tulee staattinen kuormitus kuvan 13 mukaisesti. Tällainen tilanne voi syntyä useassa eri tilanteessa ja on tästä syystä tärkeä ottaa laskelmissa huomioon. Tällainen tilanteissa suunnittelussa huomioitiin, että leuka hajoaa ennen kättelijäpaketin runkoa.



**Kuva 13 Toiselle leualle tuleva isku (vain työn tilaajan käytettävissä)**

Kolmas tapahtuma oli, että kansilevyn reunaan tulee 20 tn staattinen voima kuvan 14 mukaisesti. Tällainen tilanne on mahdollista, mikäli esimerkiksi kangen latauksessa käytettävä kaivinkone törmää leukapakettiin.



Kuva 14 Kansilevyn sivuun tuleva voima (vain työn tilaajan käytettävissä)

#### 4.3 Tulosten analysointi

FEM-analyysin tuloksia tarkastellessa voimme todeta, että leukapaketti kestää sillä tehtävän työn rasitukset. Analyysissä materiaalina oli SSAB:n Laser 355 C -teräs. Teräksen myötölujuus  $R_{eH}$  on 355 MPa ja murtolujuus  $R_m$  490 MPa.<sup>[5]</sup>

Kuvasta 15 näkee, että normaali käyttötilanteessa von mises -vertailujännitykset ovat pienet. Suurimmillaan 20 tn:n kuormalla jännitykset nousevat 108,1 MPa:iin ja tällöin myös turvakerroin on pienimmillään 1,91. Tästä voimme päätellä, ettei leukapaketti rikoudu tavallisessa käytössä.



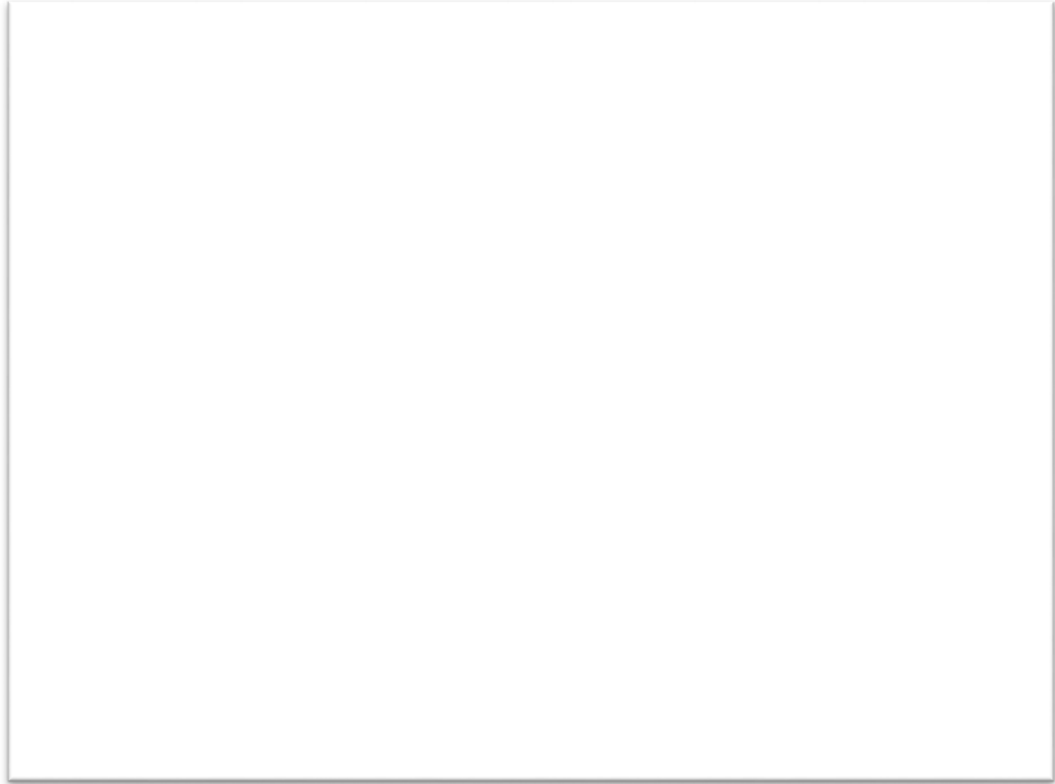
**Kuva 15 Takavasteeseen tulevan voiman jännitykset (vain työn tilaajan käytettävissä)**

Avaustyökalun jännityksiä tarkasteltiin 198 kN:n staattisella voimalla, joka on hiukan yli sylinterin maksimi tuoton. Kuvaa 16 tarkastellessa selvee, että täydellä kuormituksella sylinterin kiinnityspisteeseen kohdistuu 630 MPa:n von mises -jännitys ja 112,2 MPa:n suuruinen leikkausjännitys. Kaavan 4 mukaan yhden asteen kulman taipumiseen tarvitaan teräksen liukukertoimen  $G$  suuruinen voima. Teräksen liukukerroin on 80 GPa<sup>[7]</sup>.

$$\tau = \gamma * G \text{ [7]} \quad (4)$$

Tämän perusteella kiinnitystappi ei tule katkeamaan, ja täten avaustyökalu kestää tällaisen kuormituksen.





**Kuva 16 Avaustyökalun von mises -jännitykset (vain työn tilaajan käytettävissä)**

Kuvassa 17 on kansilevyn sivuun aiheutetun staattisen kuormituksen jännitykset. Jännityksistä näkyy, että iskukohdan vierestä runko lähtee taipumaan ja myötölujuus alkaa ylittymään. Tilanteessa on mahdollisuus, että runkoon tulee pysyviä muodonmuutoksia. Tällainen näin suuren voiman aiheuttama isku on harvinainen, eikä täten aiheuta suurempia jatkotoimenpiteitä. Turvaraja tässä tilanteessa on 0,996.



**Kuva 17 Kannen sivuun tulevan voiman jännitykset (vain työn tilaajan käytettävissä)**

Kuvan 18 mukaisessa, molempiin leukoihin tulevassa yhtäaikaisessa staattisessa kuormituksessa von mises -jännitykset ovat suurimmillaan 361,3 MPa. Voimana tässä on käytetty 198 kN, joka vastaa reilun 20 tn:n painon asettamista kappaleen leuoille. Tällaisessa tilanteessa leuat alkavat taipumaan ja niihin syntyy pysyviä muodonmuutoksia. Varmuuskerroin tilanteessa on 0,98.



**Kuva 18 Molempiin leukoihin tulevan voiman jännitykset (vain työn tilaajan käytettävissä)**

Mikäli pelkästään toiseen leukaan tulee kuvan 19 mukaisesti staattinen kuormitus, alkaa leuka taipumaan, mikäli kuormitus on noin 34,5 kN tai suurempi. Tilanteessa leuan runko alkaa taipumaan ja antaa periksi. Tällaisessa tilanteessa tarkoituksena on, että kättelijä-paketin runko pysyy ehjänä ja tilanteessa selvitään uuden kypälän hankinnalla, tai vanhan korjauksella.



Kuva 19 Yhteen leukaan tulevan voiman jännitykset (vain työn tilaajan käytettävissä)

## 5 Yhteenveto

Insinööriyön tavoitteena oli suunnitella tilausvalmis kättelijäpaketti poravaunulle. Työssä tavoiteltiin kompaktin kokoista ja käytännöllistä rakennetta. Rakenteelle oli tavoitteena saada tehtyä yksinkertainen FEM-mallinnus.

Vaikeimpia yksittäisiä kohtia olivat avaustyökalun pystyliikkeen suunnittelu ja rakenteen kestävyysvarmistaminen. Leukapaketin pienen koon takia avaustyökalun pystysylinteriä ei millään tahtonut saada sijoitettua toimivaan paikkaan. Rakenteen kestävyyttä mitoitettaessa malliin tehtiin muutoksia ensimmäisten FEM-mallinnusten jälkeen. Ensimmäisissä lujuustarkasteluissa rakenne alkoi taipumaan voimakkaasti maston kiinnityslevyn juuresta. Korjauksena levennettiin kiinnityslevyä 60 mm, ja tämä antoi rakenteelle vaadittavan lisälujuuden.

Kokonaisuudessaan suunnittelutyö on onnistunut ja lopulta tuloksena on käyttökelpoinen kättelijäpaketti. Kokoonpanokuvat ovat liitteenä.

## Lähteet

- 1 YIT Oy. Yit sijoituskohteena. Verkkoaineisto. <https://www.yitgroup.com/fi/sijoittajat/yit-sijoituskohteena>. Luettu 21.8.2018.
- 2 YIT Oy. infrapalvelut. Verkkoaineisto. <https://www.yit.fi/infrapalvelut/maa-ja-pohjarakentaminen>. Luettu 21.8.2018.
- 3 SSAB. RD-paaluseinä suunnittelu ja asennusohjeet. Verkkoaineisto. [www.ssab.fi/infra](http://www.ssab.fi/infra). Luettu 29.8.2018.
- 4 Driconeq. Driconeq Drill pipes. Verkkoaineisto. <https://driconeq.com/drilling-equipment/>. Luettu 4.9.2018.
- 5 SSAB. SSAB Laser 355C general product description. Verkkoaineisto [www.ssab.fi/tuotteet/brandit/ssab-laser/ssab-laser-product-overview](http://www.ssab.fi/tuotteet/brandit/ssab-laser/ssab-laser-product-overview). Luettu 29.8.2018.
- 6 Klemm. Klemm Technical manual and Spare part catalogue. Painettu 10.2011. Klemm Bohrtechnik GmbH.
- 7 Mäkelä, Mikko; Soininen, Lauri; Tuomola, Seppo & Öistämö, Juhani. Tekniikan kaavasto, 14. painos. Bookwell Oy; Tammertekniikka.

